胍基乙酸对保育猪生长性能、抗氧化能力和糖代谢关键酶的影响

李洁蕾　郝　月　顾宪红*

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：本试验旨在探讨胍基乙酸对保育猪生长性能、抗氧化能力和糖代谢关键酶的影响。选取体重为（19.03±1.30） kg 的健康“杜×长×大”三元杂交仔猪 64 头，随机分为 2 组，每组 4 个重复，每个重复 8 头猪。对照组饲喂基础饲粮，胍基乙酸组饲粮在基础饲粮中添加 600 mg/kg 胍基乙酸。预试期 7 d，正试期 14 d。结果表明：1）与对照组相比，胍基乙酸组保育猪的平均日增重显著升高（$P<0.05$），料重比显著降低（$P<0.05$）；2 组间的末重和平均日采食量无显著差异（$P>0.05$）。2）胍基乙酸组保育猪的血浆超氧化物歧化酶（SOD）抑制率、谷胱甘肽（GSH）含量和总抗氧化能力（T-AOC）显著高于对照组（$P<0.05$），2 组间的血浆丙二醛（MDA）含量无显著差异（$P>0.05$）。3）胍基乙酸组保育猪的血浆果糖–6–磷酸激酶（PFK）、丙酮酸激酶（PK）、异柠檬酸脱氢酶（IDH）、苹果酸脱氢酶（MDH）、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸–辅酶 Q 还原酶（NADH-CoQ）和肌酸激酶（CK）活性均极显著高于对照组（$P<0.01$），血浆已糖激酶（HK）活性有低于对照组的趋势（$P<0.10$），血浆三磷酸腺苷（ATP）合成酶（ATPase）活性有高于对照组的趋势（$P<0.10$）。由此可知，饲粮中添加胍基乙酸可改善保育猪的生长性能，提高其抗氧化能力，并可通过提高糖代谢关键酶（PFK、PK、IDH、MDH）及线粒体呼吸链相关酶（NADH-CoQ、ATPase）活性促进体内的分解代谢，提高机体 ATP 水平，进而可能促进储能组织（肌肉和脂肪）的合成。

关键词：胍基乙酸；保育猪；生长性能；抗氧化能力；糖代谢

中图分类号：S816.7；S828

收稿日期：2017-03-27

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0500501）；国家重点基础研究发展计划课题（2012CB124706）；中国农业科学院科技创新工程资助（ASTIP-IAS07）

作者简介：李洁蕾（1991—），女，河北石家庄人，硕士研究生，从事畜禽应激与动物福利研究。E-mail: lijielei123@sina.cn

*通信作者：顾宪红，研究员，博士生导师，E-mail: guxianhong@vip.sina.com

胍基乙酸（guanidine acetic acid，GAA）又称胍乙酸、乙酸胍、N–咪基甘氨酸，最早从人和狗的尿液中分离得到[1]。胍基乙酸是肌酸的前体物质，可由 *L*–精氨酸和甘氨酸合成，在脊椎动物肝脏中经甲基化后形成肌酸。肌酸是体内能量代谢的重要物质，是能量贮存的场所[2-3]。肌酸在体内有游离肌酸和磷酸肌酸 2 种存在形式，二者一起构成了磷酸原系统。当机体三磷酸腺苷（adenosine triphosphate，ATP）过剩时，磷酸肌酸可将能量储存，当机体 ATP 不足时，磷酸肌酸将 ATP 释放[4]。

肌酸作为能量代谢的重要物质，由于其在饲粮添加过程中的不稳定性[5-7]，而其前体物质胍基乙酸在各种条件下是稳定的[8]，故现在多采用胍基乙酸作为肌酸的替代物。已有研究表明，胍基乙酸可提高动物的生产性能和繁殖性能，改善肉品质，同时还具有一定的抗氧化功能[9-13]。胍基乙酸可通过提高肌肉中肌酸和 ATP 含量，提高能量代谢效率[14-16]。但关于胍基乙酸对保育猪生长性能及糖代谢的影响还鲜有研究。本试验拟研究胍基乙酸对保育猪生长性能、抗氧化能力和糖代谢关键酶的影响，为胍基乙酸的科学应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

胍基乙酸：纯度>98%，购于北京君德同创农牧科技股份有限公司。

1.2　试验设计

选取体重为（19.03±1.30） kg 的健康“杜×长×大”三元杂交仔猪 64 头，随机分为 2 组，每组 4 个重复，每个重复 8 头猪。对照组（CON group）饲喂基础饲粮，胍基乙酸组（GAA group）饲粮在基础饲粮中添加 600 mg/kg 胍基乙酸。预试期 7 d，正试期 14 d。参照 NRC（2012）配制基础饲粮，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	60.98
豆粕 Soybean meal	20.00
次粉 Wheat middlings	9.00

小麦麸 Wheat bran	6.30
大豆油 Soybean oil	1.00
石粉 Limestone	1.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.50
食盐 NaCl	0.30
L–赖氨酸盐酸盐 *L*-lys·HCl (98%)	0.20
DL–蛋氨酸 *DL*-Met (98.5%)	0.04
苏氨酸 Thr	0.06
植酸酶 Phytase	0.02
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10
预混料 Premix[1)]	0.50
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/(MJ/kg)	13.39
粗蛋白质 CP	16.37
钙 Ca	0.58
总磷 TP	0.47
赖氨酸 Lys	0.97

[1)]预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kg of the diet：VA 1 750 IU，VD 200 IU，VE 11 IU，VK 0.50 mg，VB_1 1.00 mg，VB_2 3.00 mg，VB_6 3.00 mg，VB_{12} 15.00 μg，烟酸 nicotinic acid 30.00 mg，泛酸 pantothenic acid 9.00 mg，叶酸 folic acid 0.30 mg，生物素 biotin 0.05mg，Fe (as ferrous sulfate) 100 mg，Cu (as copper sulfate) 5.00 mg，Zn (as zinc sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 3.00 mg，I (as potassium iodide) 0.14 mg，Se 0.30 mg。

[2)]营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

试验在山西省吕梁市某猪场进行，整个试验期猪只自由采食和饮水，每天喂料 3 次，每次以猪吃饱后料槽内略有余料为宜。每天打扫粪便 1 次，注意通风换气，观察猪只采食、温湿度和精神状况，定期消毒，发现疾病及时处理。

1.4　样品采集与处理

于试验第 14 天，对所有试验猪只用含肝素钠的采血管采集前腔静脉血液，离心（3 000 r/min，10 min）后取血浆，分装至 200 μL 离心管，–80 ℃保存，以备后续试验。

1.5　测定指标与方法

1.5.1　生长性能

于试验开始、结束时，对试验猪只进行个体空腹称重，结算耗料量。计算保育猪的平均日增重（average daily gain，ADG）、平均日采食量（average daily feed intake，ADFI）和料重比（feed/gain，F/G）。

1.5.2　血浆抗氧化指标

血浆超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）抑制率采用同仁化学研究所试剂盒测定，方法为比色法，SOD 抑制率与 SOD 活性呈正比；血浆谷胱甘肽（glutathione，GSH）含量、总抗氧化能力（total antioxidant capacity，T-AOC）采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定，方法为比色法；血浆丙二醛（malondialdehyde，MDA）含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定，方法为硫代巴比妥酸（TBA）法。

1.5.3　血浆糖代谢关键酶和呼吸链相关酶活性

血浆已糖激酶（hexokinase，HK）、果糖–6–磷酸激酶（fructose-6-phosphate kinase，PFK）、丙酮酸激酶（pyruvate kinase，PK）、苹果酸脱氢酶（malate dehydrogenase，MDH）和肌酸激酶（creatine kinase，CK）活性采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定，方法为比色法；异柠檬酸脱氢酶（isocitrate dehydrogenase，IDH）、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸（nicotinamide adenine dinucleotide，NADH）–辅酶 Q 还原酶（NADH coenzyme Q reductase，NADH-CoQ）和 ATP 合成酶（ATP synthase，ATPase）活性采用上海杰美基因医药科技有限公司试剂盒测定，方法为比色法。指标测定依据相应试剂盒说明书进行操作。

1.6　数据统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 软件进行 t 检验，P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。试验结果以“平均值±标准差”表示。

2 结　果

2.1　胍基乙酸对保育猪生长性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，胍基乙酸组保育猪的平均日增重显著升高（P<0.05），料重比显著降低（P<0.05）；2 组间的末重和平均日采食量无显著差异（P>0.05）。

表 2　胍基乙酸对保育猪生长性能的影响

Table 2　Effects of guanidine acetic acid on growth performance of nursery pigs　　n=4

项目 Items	对照组 CON group	胍基乙酸组 GAA group	P 值 P-value
始重 Initial body weight/kg	19.03±1.43	19.03±1.26	0.99
末重 Final body weight/kg	27.61±0.43	28.76±1.08	0.10
平均日增重 ADG/kg	0.61±0.04^{b}	0.70±0.03^{a}	0.02
平均日采食量 ADFI/kg	0.97±0.01	0.95±0.03	0.16
料重比 F/G	1.61±0.10^{a}	1.38±0.10^{b}	0.02

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), and with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2　胍基乙酸对保育猪血浆抗氧化指标的影响

由表 3 可知，胍基乙酸组保育猪的血浆 SOD 抑制率和 T-AOC 极显著高于对照组（P<0.01），血浆 GSH 含量显著高于对照组（P<0.05）；2 组间的血浆 MDA 含量无显著差异（P>0.05）。

表 3　胍基乙酸对保育猪血浆抗氧化指标的影响

Table 3　Effects of guanidine acetic acid on plasma antioxidant indexes of nursery pigs　　n=4

项目	对照组	胍基乙酸组	P 值

Items	CON group	GAA group	*P*-value
超氧化物歧化酶抑制率 SOD inhibition rate/%	79.48±3.91^{B}	88.65±6.11^{A}	0.009
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	1.59±0.46	1.59±0.37	0.990
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	0.85±0.12^{B}	1.30±0.20^{A}	0.002
谷胱甘肽 GSH/(μmol/L)	82.54±10.92^{b}	102.57±17.60^{a}	0.040

2.3 胍基乙酸对保育猪血浆糖代谢关键酶和呼吸链相关酶活性的影响

由表 4 可知，与对照组相比，胍基乙酸组保育猪的血浆 PFK、PK、IDH、MDH、NADH-CoQ 和 CK 活性均极显著升高（P<0.01），血浆 HK 活性有低于对照组的趋势（P<0.10），血浆 ATPase 活性有高于对照组的趋势（P<0.10）。

表 4 胍基乙酸对保育猪血浆糖代谢关键酶和呼吸链相关酶活性的影响

Table 4 Effects of guanidine acetic acid on the activities of glycometabolism key enzymes and respiratory chain related enzymes in plasma of nursery pigs n=4

项目 Items	组别 Groups 对照组 CON group	组别 Groups 胍基乙酸组 GAA group	比值（胍基乙酸组/对照组） Ratio (GAA group/CON group)	*P* 值 *P*-value
糖代谢关键酶 Glycometabolism key enzymes				
己糖激酶 HK/(U/L)	74.39±16.96	61.60±10.02	0.83	0.080
果糖–6–磷酸激酶 PFK/(U/mL)	4.67±0.64^{B}	11.78±7.18^{A}	2.52	0.003
丙酮酸激酶 PK/(U/L)	43.12±19.65^{B}	109.27±39.35^{A}	2.53	0.001
异柠檬酸脱氢酶 IDH/[mmol/(min·mg)]	6.39±4.35^{B}	19.96±9.83^{A}	3.12	0.005
苹果酸脱氢酶 MDH/(U/mg)	25.52±4.72^{B}	38.45±6.88^{A}	1.51	0.003
呼吸链相关酶 Respiratory chain related enzymes				
烟酰胺腺嘌呤二核苷酸–辅酶 Q 还原酶 NADH-CoQ/[mmol/(min·mg)]	15.07±12.66^{B}	74.21±3.87^{A}	4.92	<0.001
三磷酸腺苷合成酶 ATPase/[mmol/(min·mg)]	14.38±1.11	26.42±7.92	1.83	0.060

其他 Others				
肌酸激酶 CK/(U/mL)	3.05 ± 1.15^{B}	6.15 ± 1.37^{A}	2.02	<0.001

2.4 胍基乙酸对保育猪 ATP 合成与分解的影响

由表 4 和图 1 可知，饲粮中添加胍基乙酸，可产生 ATP 的 PK、IDH、MDH、NADH-CoQ 和 ATPase 活性升高 2.53、3.12、1.51、4.92 和 1.83 倍，消耗 ATP 的 PFK 和 CK 活性升高 2.52 和 2.02 倍。

3 讨 论

3.1 胍基乙酸对保育猪生长性能的影响

胍基乙酸是动物机体内合成肌酸的主要内源性物质，既可由机体自身合成也可从食物中获得。本试验研究表明，饲粮中添加胍基乙酸可显著提高保育猪的平均日增重，显著降低料重比，但对平均日采食量无显著影响。这与王欢等[17]、祁永旺等[18]和潘宝海等[9]的研究结果相一致。江涛[19]研究发现，饲粮中添加 600 mg/kg 胍基乙酸可使肉仔鸡的平均日增重显著升高，料重比显著降低，屠宰率显著升高。Michiels 等[20]研究发现，饲粮中添加 600 mg/kg 胍基乙酸可提高罗斯肉仔鸡的平均日增重和饲料利用率。张德福等[21]发现，饲粮中添加 300~600 mg/kg 胍基乙酸可改善生长育肥猪的生长性能。

饲粮中添加胍基乙酸可促进机体内肌酸的合成，进而提高磷酸肌酸和 ATP 等高能量物质的存储量或利用效率，从而促进肌肉能量代谢，减少碳水化合物、蛋白质和脂肪的分解供能，进而加快动物生长[22-23]。

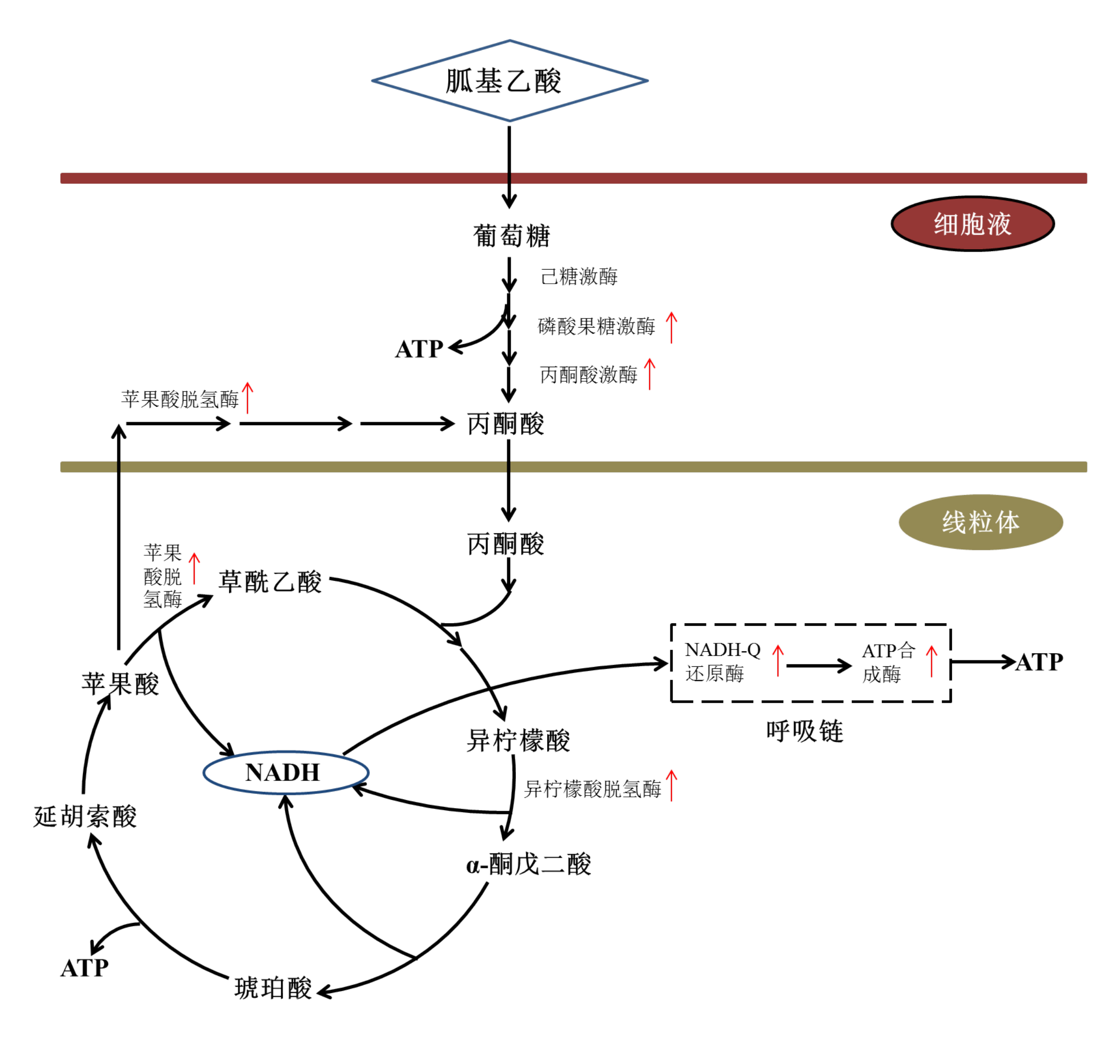
3.2 胍基乙酸对保育猪抗氧化能力的影响

动物通过抗氧化系统及时清除体内过多的自由基，维持机体的自由基平衡。MDA 是脂质过氧化反应的最终产物，可反映机体内的过氧化程度。SOD 是体内的抗氧化酶之一，可将超氧根阴离子歧化为过氧化氢（H_2O_2），消除其毒性[24]。GSH 可清除体内的自由基，而 T-AOC 是反映机体总抗氧化机能状况的指标。本试验研究发现，饲粮中添加胍基乙酸可显著提高保育猪的血浆 SOD 抑制率、GSH 含量和 T-AOC，但对 MDA 含量无显著影响。Wang 等[25]和王亚琼等[26]研究发现，饲粮中添加胍基乙酸可显著提高肌肉中 SOD、过氧化氢酶（catalse，CAT）活性、T-AOC 和血液中谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase，GSH-Px)、

CAT 活性、T-AOC，极显著降低肌肉和血液中 MDA 含量。可见，胍基乙酸在一定程度上可通过提高抗氧化酶活性进而提高机体的抗氧化能力。

胍基乙酸提高机体抗氧化能力可能与其提高肌酸含量相关。Lawler 等[27]体外试验研究表明，高浓度的肌酸可消除自由基。赵力等[28]研究发现，磷酸肌酸可通过减少 MDA 含量，增加 SOD、CAT 等抗氧化酶系统功能，降低阿霉素引起的氧化应激，达到保护心肌的作用。Maddock 等[29]试验表明，肌酸可提高氧化应激损伤后的 DNA 活性，保证其功能的正常发挥。

3.3 胍基乙酸对保育猪糖代谢关键酶和呼吸链相关酶的影响



红色箭头代表促进作用。丙酮酸激酶、异柠檬酸脱氢酶、苹果酸脱氢酶、NADH-Q 还原酶和 ATP 合成酶为产生 ATP 的酶，己糖激酶和磷酸果糖激酶为消耗 ATP 的酶。

The red arrows represented the role of promotion. Pyruvate kinase (PK), isocitrate dehydrogenase (IDH), malate dehydrogenase (MDH), nicotinamide adenine dinucleotide coenzyme Q reductase (NADH-CoQ) and adenosine triphosphate (ATP) synthase (ATPase) were

enzymes that produced ATP, and hexokinase (HK) and fructose-6-phosphate kinase (PFK) were enzymes that consumed ATP.

NADH：烟酰胺腺嘌呤二核苷酸 nicotinamide adenine dinucleotide；ATP：三磷酸腺苷 adenosine triphosphate。

图 1　胍基乙酸对糖代谢的影响

Figure 1　Effects of guanidine acetic acid on glycometabolism

HK 催化葡萄糖磷酸化生成葡萄糖–6–磷酸，此过程消耗 1 个 ATP。PFK 催化果糖–6–磷酸转变为果糖–1,6–二磷酸，此过程消耗 1 个 ATP。PK 催化磷酸烯醇式丙酮酸转变为丙酮酸，同时伴随 ATP 的产生。三羧酸循环在线粒体中进行，此循环中异柠檬酸氧化脱羧形成 α–酮戊二酸，这是三羧酸循环中的第 1 个脱羧反应，由 IDH 催化，伴有 NADH 的生成。MDH 催化苹果酸脱氢生成草酰乙酸，伴有 NADH 的生成[30]。

血液中酶活性的变化在一定程度上可反映机体的生理状态[31]。本试验中，与对照组相比，胍基乙酸组保育猪的血浆 PFK、PK、IDH 和 MDH 活性均极显著升高，由图 1 可知，血浆中葡萄糖的分解代谢增强。而洑琴等[32]研究表明，250 mg/kg 胍基乙酸组建鲤肌肉中 PK 和琥珀酸脱氢酶活性显著降低，但肌糖原含量显著增加，这可能是动物的种属差异造成的。

三羧酸循环酶系生成的 NADH，可以直接进入呼吸链与氧反应，同时伴有 2.5 个 ATP 的生成。胍基乙酸引起 NADH-CoQ 和 ATPase 活性升高，这可能与其升高体内肌酸水平相关。孙正武[33]研究发现，磷酸肌酸可不同程度地提高脂多糖诱导的人静脉细胞线粒体呼吸链复合酶Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ的活性。研究也表明，磷酸肌酸可促进线粒体内 ATP 的生成，维持能量的正常生成与转运[15,34-36]。

胍基乙酸在肝脏与 S-腺苷蛋氨酸（SAM）形成肌酸，肌酸在 CK 催化下与 ATP 反应生成磷酸肌酸和二磷酸腺苷（ADP）。本试验中，饲粮中添加胍基乙酸可使产生 ATP 的 PK、IDH、MDH、NADH-CoQ 和 ATPase 活性相对升高 2.53、3.12、1.51、4.92 和 1.83 倍，可使消耗 ATP 的 PFK 和 CK 活性升高 2.52 和 2.02 倍。ATP 合成的相对量远大于 ATP 的消耗量，故饲粮中添加胍基乙酸可提高机体 ATP 水平。

4　结　论

饲粮中添加 600 mg/kg 胍基乙酸可改善保育猪的生长性能，提高其抗氧化能力，并可通过提高血浆 PFK、PK、IDH、MDH、NADH-CoQ 和 ATPase 的活性，促进体内分解代谢，提高机体 ATP 水平，进而可能促进储能组织（肌肉和脂肪）的合成。

参考文献：

[1] WEBER C J.Studies on the metabolism of guanidoacetic acid[J].Hope-Seylers Z Physiol Chein,1936,114:cvii.

[2] SALES J.A meta-analysis of the effects of dietary betaine supplementation on finishing performance and carcass characteristics of pigs[J].Animal Feed Science andTechnology,2011,165(1/2):68–78.

[3] OSTOJIC S M,NIESS B,STOJANOVIC M,et al.Creatine metabolism and safety profiles after six-week oral guanidine acetic acid administration in healthy humans.[J].International Journal of Medical Sciences,2013,10(2):141–147.

[4] RINGEL J,LEMME A,KNOX A,et al.Effects of graded levels of creatine and guanidino acetic acid in vegetable-based diets on performance and biochemical parameters in muscle tissue[C]//Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition.Strasbourg,France:World Poultry Science Association,2007:387–390.

[5] JANICKI B,BUZALA M.The role of creatine in the organism of pigs and its effect on the quality of pork:a review[J].Annals of Animal Science,2013,13(13):207–215.

[6] ZHANG L,LI J L,GAO T,et al.Effects of dietary supplementation with creatine monohydrate during the finishing period on growth performance,carcass traits,meat quality and muscle glycolytic potential of broilers subjected to transport stress[J].Animal:An International Journal of Animal Bioscience,2014,8(12):1955–1962.

[7] BAKER D H.Advances in protein-amino acid nutrition of poultry[J].Amino Acids,2008,37(1):29–41.

[8] European Food Safety Authority (EFSA).Safety and efficacy of guanidinoacetic acid as feed additive for chickens for fattening[J].The EFSA Journal,2009,7(3):988.

[9] 潘宝海,孙冬岩,田耀耀.胍基乙酸对育肥猪生长性能、胴体品质及肉品质的影响[J].中国

畜牧杂志,2016(19):38–41.

[10] 张堂田,孟秀丽,江涛,等.胍基乙酸和 *N*–甲基–*D*–天冬氨酸对育肥猪生长和肉品质的影响[J].湖南农业科学,2011(23):121–123.

[11] DILGER R N,BRYANT-ANGELONI K,PAYNE R L,et al.Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks[J].Poultry Science,2013,92(1):171–177.

[12] HEGER J,ZELENKA J,MACHANDER V,et al.Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy content[J].Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis,2014,62(3):477–485.

[13] 张俊玲,张德福,崔军,等.胍基乙酸对 AA+肉种鸡繁殖性能的影响[J].饲料研究,2016(14):25–27.

[14] 刘洋,李蛟龙,张林,等.胍基乙酸和甜菜碱对育肥猪肌肉能量代谢和肉品质的影响[J].畜牧兽医学报,2015,49(9):1557–1563.

[15] MOUSAVI S N,AFSAR A,LOTFOLLAHIAN H.Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents[J].Journal of Applied Poultry Research,2013,22(1):47–54.

[16] TOSSENBERGER J,RADEMACHER M,NÉMETH K,et al.Digestibility and metabolism of dietary guanidinoacetic acid fed to broilers[J].Poultry Science,2016,95(9):2058–2067.

[17] 王欢,王为雄,汪宏云,等.胍基乙酸在育肥猪中应用效果研究[J].粮食与饲料工业,2015,12(3):47–49.

[18] 祁永旺,王昕陟,侯华,等.胍基乙酸对育肥猪生产性能和胴体品质的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2011(11):65–66.

[19] 江涛.胍基乙酸的合成及其对肉鸡生长性能和血液理化指标的影响[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2012.

[20] MICHIELS J,MAERTENS L,BUYSE J,et al.Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets:effects on performance,carcass characteristics,meat quality,and energy metabolism[J].Poultry Science,2012,91(2):402–412.

[21] 张德福,李易明,田耀耀,等.胍基乙酸对猪生长性能和饲养经济效益的影响[J].中国饲料,2016(18):29–31,35.
[22] LEMME A,RINGEL J,STERK A R,et al.Supplemental guanidinoacetic acid affects energy metabolism of broilers[C]//Proceedings 16th European Symposium on Poultry Nutrition.Strasbourg France:World Poultry Science Association,2007:26–30.
[23] 江涛,戴粲,李小燕,等.胍基乙酸对 AA 肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响[J].饲料研究,2012(4):8–10.
[24] 方允中,李文杰.自由基与酶基础理论及其在生物学和医学中的应用[M].北京:科学出版社,1998.
[25] WANG L S,SHI B M,SHAN A S,et al.Effects of guanidinoacetic acid on growth performance,meat quality and antioxidation in growing-finishing pigs[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2012,11(5):631–636.
[26] 王亚琼,刘强,姜发彬,等.胍基乙酸对樱桃谷肉鸭生产性能和抗氧化能力的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(2):269–274.
[27] LAWLER J M,BARNES W S,WU G Y,et al.Direct antioxidant properties of creatine[J].Biochemical and Biophysical Research Communications,2002,290(1):47–52.
[28] 赵力,李琦,李午生,等.磷酸肌酸对阿霉素致大鼠心肌损伤的保护作用及其抗细胞凋亡的实验研究[J].中国医学工程,2011,19(8):5–8,14.
[29] MADDOCK R J,BIDNER B S,CARR S N,et al.Creatine monohydrate supplementation and the quality of fresh pork in normal and halothane carrier pigs[J].Journal of Animal Science,2002,80(4):997–1004.
[30] 邹思湘.动物生物化学[M].4 版.北京:中国农业出版社,2005.
[31] 秦小惠,古再丽努尔·艾麦提,邵伟,等.移植骨髓间充质干细胞对乳腺炎模型大鼠乳腺组织及血清中酶活性变化的影响[J].动物医学进展,2013,34(7):1–6.
[32] 洑琴,乔丽红,唐志刚,等.胍基乙酸对建鲤生产性能、体成分及肌肉能量代谢关键酶的影响[J].中国粮油学报,2015(3):85–89.
[33] 孙正武.磷酸肌酸通过调节线粒体氧化磷酸化对抗脂多糖诱导的人脐静脉细胞凋亡[D].

硕士学位论文.大连:大连医科大学,2014.

[34] BARBIERI E,GUESCINI M,CALCABRINI C,et al.Creatine prevents the structural and functional damage to mitochondria in myogenic,oxidatively stressed C2C12 cells and restores their differentiation capacity[J].Oxidative Medicine and Cellular Longevity,2016,2016:5152029.

[35] 李晓燕,纪丽丽,张红明,等.磷酸肌酸钠对力竭运动大鼠心肌线粒体解偶联蛋白 2 和能量代谢变化的影响[J].解放军医学杂志,2015,40(11):897–901.

[36] SUN Z W,LAN X Y,AHSAN A,et al.Phosphocreatine protects against LPS-induced human umbilical vein endothelial cell apoptosis by regulating mitochondrial oxidative phosphorylation[J].Apoptosis,2016,21(3):283–297.

Effects of Guanidine Acetic Acid on Growth Performance, Antioxidant Capacity and Glycometabolism Key Enzymes of Nursery Pigs

LI Jielei HAO Yue GU Xianhong*

（*State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of guanidine acetic acid on growth performance, antioxidant capacity and glycometabolism key enzymes of nursery pigs. Sixty four healthy “Duroc×Landrace×Yorkshire” hybrid piglets with body weight of (19.03±1.30) kg were randomly divided into two groups with four replicates per group and eight piglets per replicate. The piglets in control group were fed a basal diet, while the others in guanidine acetic acid group were fed the basal diet supplemented with 600 mg/kg guanidine acetic acid. The pretest lasted for 7 days, and the experiment lasted for 14 days. The results showed as follows: 1) compared with control group, average daily gain of nursery pigs in guanidine acetic acid group was significantly increased (P<0.05), and the ratio of feed to gain was significantly decreased (P<0.05). There were no significant differences in final body weight and average daily feed intake

*Corresponding author, professor, E-mail: guxianhong@vip.sina.com (责任编辑 李慧英)

between two groups (P>0.05). 2) The superoxide dismutase (SOD) inhibition rate, glutathione (GSH) content and total antioxidant capacity (T-AOC) in plasma of nursery pigs in guanidine acetic acid group were significantly higher than those in control group (P<0.05). There was no significant difference in the content of malondialdehyde (MDA) between two groups (P>0.05). 3) The activities of fructose-6-phosphate kinase (PFK), pyruvate kinase (PK), isocitrate dehydrogenase (IDH), malate dehydrogenase (MDH), nicotinamide adenine dinucleotide coenzyme Q reductase (NADH-CoQ) and creatine kinase (CK) in plasma of nursery pigs in guanidine acetic acid group were significantly higher than those in control group (P<0.01). Compared with control group, the activity of hexokinase (HK) in plasma in guanidine acetic acid group had a decrease trend (P<0.10), and the activity of adenosine triphosphate (ATP) synthase (ATPase) in plasma in guanidine acetic acid group had an increase trend (P<0.10). In conclusion, dietary guanidine acetic acid can improve the growth performance and antioxidant capacity, promote catabolism *in vivo* by increasing the activities of glycometabolism key enzymes (PFK, PK, IDH, MDH) and mitochondrial respiratory chain related enzymes (NADH-CoQ, ATPase), improve the body ATP level, and thus may promote the energy storage organizations (muscle and fat) synthesis.

Key words: guanidine acetic acid; nursery pigs; growth performance; antioxidant capacity; glycometabolism